

一种基于数字伴潮海岸线的潮滩淹没区仿真算法

张立华^{1,2} 朱庆² 暴景阳¹ 徐胜华²

(1 海军大连舰艇学院海测系,大连市解放路 667 号,116018)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:提出了一种基于数字伴潮海岸线(digital tide-coordinated shoreline, DTS)的潮滩淹没区仿真算法。此算法在建立数字潮滩模型和瞬时水位模型的基础上实时提取 DTS。根据 DTS 的类型确定不连通的洼地,并快速计算其影响域,同时合理地确定潮滩与水面模型的表达方式,正确构建和显示淹没区。实验结果证明,本文算法在表达的准确性和计算的速度上明显优于传统算法。

关键词:数字伴潮海岸线;淹没;潮滩;洼地

中图法分类号:P208

在潮滩淹没仿真中,求解淹没区是一个核心问题。对于如何求解洪水淹没区,近年来已有较多的研究^[1-6]。在对洪水淹没的处理中,主要将其分成无源淹没和有源淹没两大类型^[4-6]。无源淹没仿真实现简单。潮滩淹没是一种有源淹没,而有源淹没仿真是一个难点问题。很多 GIS 软件对于有源淹没的处理常采用人工干预的方法确定连通区域。最近几年提出了自动处理有源淹没问题的方法,典型的是种子蔓延算法和引申的投石问路算法^[4-6]。

传统的有源淹没算法主要存在如下不足:① 需要不断重复地进行淹没和连通性检测,当区域较大或网格较细时,计算量大,致使计算和显示的速度很慢。② 由于规则或任意的多边形网格是计算和显示的最小单元,当使用较粗的网格单元时,淹没区的表达精度较低。尤为重要的是,在某些淹没区,连通性的表达上会出现明显的错误。因此,研究一种能更加准确、快速的潮滩淹没区构建算法具有现实意义。李荣兴于 2002 年提出了伴潮海岸线为沿岸陆地与某一时刻海水面的交线的概念^[7]。正是这种伴潮海岸线形成了潮滩淹没区的边界,只要建立数字潮滩模型和瞬时水位模型,就可追踪出数字伴潮海岸线(DTS)。如果能

合理利用 DTS 这种边界线正确处理好不连通的洼地,就可以快速有效地计算与显示潮滩淹没区。基于这种思想,本文提出了一种基于数字伴潮海岸线的潮滩淹没区仿真算法。

1 算法的实现

1.1 算法的基本思路

本文算法的基本思路如下:① 潮滩淹没区的形成是海水覆盖潮滩的结果,所以先要建立数字潮滩模型(digital intertidal zone model, DIZM)和瞬时水位模型(instantaneous water surface model, IWSM)。② 由于两个模型面的交线为 DTS,通过两个模型的相减,垂直方向上值为 0 的等值线就为 DTS,所以通过追踪值为 0 的等值线,就可获得所有的 DTS。③ 对于所追踪出来的 DTS,通过合理利用,就可以用来正确表达淹没区。④ 在有源淹没中,很重要的一点是不连通的洼地并不被海水淹没,所以根据所追踪出来的 DTS 的特点,可以找出这种不连通的区域。⑤ 在淹没区的图形显示中,对不连通区域作特殊的处理,其余地方采用正常的缓冲区深度测试即可实现。其实现框图如图 1 所示。

收稿日期:2007-04-25。

项目来源:武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室开放研究基金资助项目(WKL(05)0304);地理空间信息工程国家重点实验室开放研究基金资助项目(200634);国家自然科学基金资助项目(40671161);新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-05-0626)。

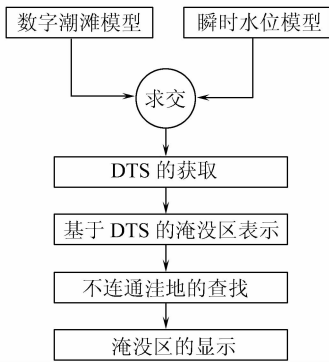


图1 算法实现框图

Fig. 1 Flowchart of Proposed Algorithm

1.2 潮滩淹没模型的构建

1.2.1 数字潮滩模型

潮滩属于海陆交界的区域,对其进行淹没的计算通常要先进行海陆数据的集成,生成数字潮滩模型。数字潮滩模型是一种数字高程模型,可表示为 $Z_{DIZM} = f(x, y)$ 。此研究采用 WGS84 坐标系,高斯投影,水深与陆部数据的垂直基准都采用高程基准。某区域经数据集成后的数字潮滩模型如图 2 所示。

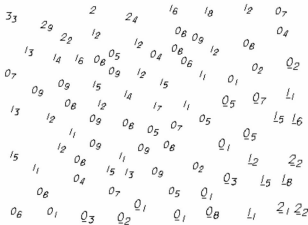


图2 数字潮滩模型

Fig. 2 DIZM

1.2.2 瞬时水位模型

为了表达潮滩淹没区的动态变化,需要计算 IWSM,用 $Z_{IWSM} = f(x, y, t)$ 来表达。应当说明,精确的 Z_{IWSM} 的计算需考虑淹没过程的水动力学模拟和水面形状变化的问题^[3]。但是,“水平面”近似方法实用、便捷,又能较快地与受淹区的现状数据进行叠置分析,具有较大的实际意义^[4,6]。在“水平面”法中,IWSM 可简化为 Z_{IWSM} ,水位只随时间变化,而与平面位置无关。调和方法是常用的动态预测沿岸水位变化的一种方法^[8],可表示为:

$$Z_{IWSM}(t) = H_{MSL} + \sum_1^m f_i H_i \cos[q_i t + G(u_0 + u)_i - g_i] + r(t) \tag{1}$$

式中, H_{MSL} 为从深度基准面起算的平均海面高; m

为分潮数; f_i 为交点因子; q_i 为分潮角速率; $G(u_0 + u)$ 为格林尼治零时天文相角; H_i 为分潮振幅; g 为分潮专用迟角; $r(t)$ 为余水位。这些参数可以通过以前的潮汐观测资料进行计算^[8]。

1.3 DTS 的获取

1.3.1 DTS 的获取

要获取 DTS,首先应求取 Z_{IWSM} 与 Z_{DIZM} 两个模型的差值:

$$dZ = Z_{IWSM} - Z_{DIZM} \tag{2}$$

追踪出 dZ 为 0 的等值线就是 DTS, $dZ > 0$ 的区域为淹没区。在本文中,用于进行潮滩显示的数据为不规则的离散点,所以采用三角网法追踪 DTS。图 3 是基于图 2 中的数据所构建的 Delaunay 三角网,并进一步显示了基于上述方法所追踪的某一时刻 ($Z_{DIZM} = 1$) 的 DTS。

1.3.2 DTS 的方向和分类

为了描述和建模的方便,给出如下定义。

定义 1 沿 DTS 的追踪方向,如果左侧地形为高地 ($dZ < 0$, 地形值高于瞬时水位),右侧地形为低地 ($dZ > 0$, 地形值低于瞬时水位),此方向定义为 DTS 的正向;反之,高地在右、低地在左的追踪方向为 DTS 的负向。如图 3 中,箭头方向表示 DTS 的正向。

定义 2 将所有的 DTS 分成三类:对于一条闭合的 DTS,如果其内部为高地 ($dZ < 0$),这类 DTS 称为第 I 类 DTS (如图 3 中的 c_3)。对于一条闭合的 DTS,如果其内部为低地 ($dZ > 0$),这类 DTS 称为第 II 类 DTS (如图 3 中的 c_1, c_2)。对于非闭合的 DTS,称为第 III 类 DTS (如图 3 中的 c_4, c_5)。

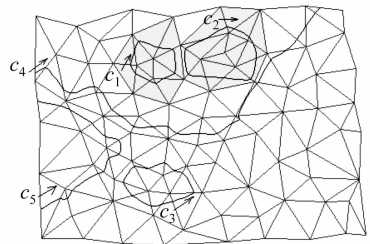


图3 第 II 类 DTS 的影响域

Fig. 3 Influencing Areas of DTSs of Class-II

1.3.3 DTS 的处理

追踪后的 DTS 都应正向记录,可通过比较等值点所在三角形边上的两个顶点在垂直方向上的值的大小来完成。经过方向排序后的 DTS 顶点都是按左边为 $dZ < 0$ 、右边为 $dZ > 0$ 方向排列的。

在 DTS 的提取中,三角网只需构建一遍,可在动态仿真前完成,而 DTS 随水位涨落而不断变化,需要实时提取。本文根据 DTS 的下一个等值

点必定在相邻三角形上的思路,充分利用三角形的邻接关系,改进了组织排列等值点的方法,达到了快速提取的目的。

1.4 基于 DTS 的淹没区表达

理论上讲,对于 $dZ > 0$ 的区域为淹没区,而追踪出的 DTS 就是淹没区范围的边界线。采用 OpenGL 等图形引擎进行淹没区显示时,通过缓冲区深度测试,对于 $dZ > 0$ 的区域会自动显示为淹没区。但对于有源淹没来说,难以处理的就是第 II 类 DTS 的内部区域。尽管这类区域内 $dZ > 0$,但由于其是不连通的洼地,并不应该计入真正的淹没区,而仍然需要显示地形。

1.5 不连通洼地的查找

由于第 II 类 DTS 是不连通洼地的边界线,只要从追踪出的 DTS 中找出哪些是第 II 类 DTS,就可确定所有不连通的洼地。对于闭合 DTS 与非闭合 DTS,在追踪时,可根据起始点是否与终止点重合来进行区分。但第 I 类和第 II 类 DTS 都是一种闭合的多边形,区分第 I 类和第 II 类 DTS 应进一步通过判断其顶点是顺时针或逆时针排列来进行。

1.6 淹没区的显示

在得到了不连通的洼地后,还要合理地显示这些洼地。为了描述方便,定义第 II 类 DTS 的影响域为:至少有一个顶点位于第 II 类 DTS 内部的三角形集。图 3 中的阴影区就是第 II 类 DTS c_1 、 c_2 的影响域。在进行场景显示时,在影响域内, Z_{IWSM} 不参与地形三角形的深度测试,总是显示地形。在其他地方,通过正常的计算机图形缓冲区深度测试,就可正确地表达淹没区。

可以采用如下方法:遍历所有三角形,如果某三角形有一个顶点位于某条第 II 类 DTS 内部,这个三角形为影响域内三角形,所有的影响域内三角形最后就组成了影响域。为了加快速度,可建立第 II 类 DTS 的外围矩形包络。当测试某三角形顶点是否位于 DTS 内部时,可先测试此顶点是

否在矩形包络内,只对矩形包络内的点再进一步进行是否位于 DTS 内部的测试。

2 实验与分析

2.1 准确性分析

图 4(a)是基于传统的种子蔓延算法所形成的淹没区域示意图(阴影区表示被淹没区域)。在传统的算法实现中,将三角形网格作为一个处理单元,当三角形三个顶点的潮滩地形平均值低于水位时,将整个三角形单元全部计入淹没区。传统算法对于某个单元的淹没与干出都以整个三角形为单位。而在所提的基于 DTS 的算法中,根据三角形顶点追踪 DTS,从而进一步计算三角形单元内的淹没部分与干出部分,所以其表达的淹没区更加准确,图 4(b)为本文所提算法的显示结果。从图中也可以看出,图 4(a)中的淹没区边界呈锯齿状,而图 4(b)中变得较为光滑,更加贴近潮滩的实际淹没情况。

更为重要的是,对于淹没区的某些细节表达的正确性上,所提算法也有了明显的提高。在图 4 中,三角形顶点 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 都是高于某时刻水位($Z_{IWSM} = 1$)的地形点(可参考图 2 中的具体数据),线段 p_1p_2 和线段 p_3p_4 应该将左右两个低地分开,从而形成两个不连通的洼地。可是,在传统的种子蔓延算法所得的结果图 4(a)中,没有形成正确的洼地,而与外围的淹没区水域连接成了一片。在图 4(a)中,种子蔓延算法还形成了两个虚假的洼地(两个虚框内部的阴影区,尽管三角形内的潮滩地形值低于瞬时水位,但由于只与外围三角形共顶点而不邻接,在种子蔓延算法中并没有计入淹没区);在图 4(b)中,由于采用了基于 DTS 的算法,两个不连通的洼地被正确地显示出来,也没有像传统算法一样形成两个虚假的洼地。

为了更加形象直观地比较不同算法所得的结果,图 5 给出了相应的三维显示。

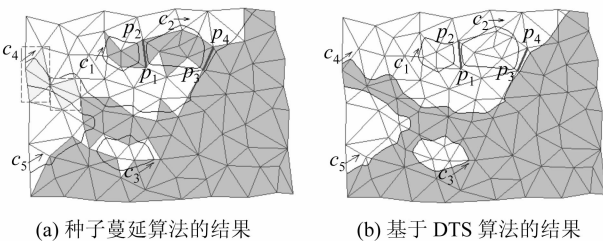


图 4 不同算法形成的淹没区
Fig. 4 Flood Areas Based on Different Algorithms

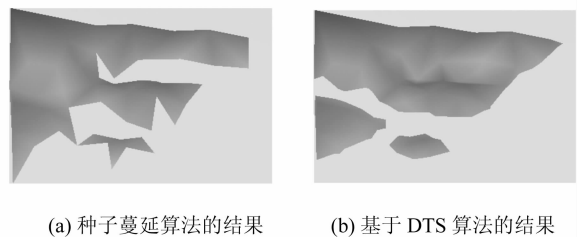


图 5 不同算法形成的淹没区三维显示
Fig. 5 Three-Dimensional Displays of Flood Areas Based on Different Algorithms

2.2 效率分析

为了对比传统算法和本文所提的 DTS 算法的效率,在 PIV 1.8 GHz、内存 256 MB、显存 16 M 的机器上进行了三维仿真实验,耗时如表 1 所示。从表 1 可以看出,随着三角形个数的增多,传统的种子蔓延算法耗时陡然增加;当三角形个数达到 22 万个左右时,其计算时间需要约 35 min。而本文所提的基于 DTS 的算法,随三角形个数的增加,计算与显示的耗时基本上呈线性增长。其耗时主要与三角形个数、不连通洼地的个数相关。

表 1 几组不同数据用于潮滩三维有源淹没仿真的时间对照表

Tab. 1 Timetable for Three-Dimensional With-Source Flood Simulation Based on Different Data

三角形数/个	不连通洼地数/个	种子蔓延算法 耗时/s	基于 DTS 算法 耗时/s
4 716	6	0.8	0.09
7 001	6	1.8	0.14
12 623	6	5.9	0.39
23 902	6	23.8	0.67
33 190	13	103.9	0.88
45 697	29	231.6	1.46
124 816	6	662.2	2.89
223 772	6	2 130.5	6.78

由表 1 可知,本文所提算法与传统的种子蔓延算法相比,其计算速度有很大的提高。

3 结 语

本文所提出和实现的算法没有像传统算法一样形成虚假的洼地,所形成的淹没区边界较为光滑,对淹没区的表达具有更高的准确性。同时,通

过三维有源淹没仿真实验所需的时间对比来看,效率明显优于传统算法。当然,更准确的潮滩淹没表达还需要考虑水位交替涨落的影响。为了更加逼真地显示潮滩,还应考虑水动力学模拟、水面形状变化等问题,这有待于进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Chang T J, Hsu M H, Teng W H, et al. A GIS-assisted Distributed Watershed Model for Simulating and Inundation[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(5): 975-988
- [2] 葛小平, 许有鹏, 张琪, 等. GIS 支持下的洪水淹没范围模拟[J]. 水科学进展, 2002, 13(2): 456-460
- [3] Wicks J, Mocke R, Bates P D, et al. Selection of Appropriate Models for Floodmodelling[C]. The 38th DEFRA Annual Flood and Coastal Management Conference, Keele University, UK, 2003
- [4] 丁志雄, 李纪人, 李琳. 基于 GIS 网格模型的洪水淹没分析方法[J]. 水利学报, 2004(6): 1-6
- [5] 郭利华, 龙毅. 基于 DEM 的洪水淹没分析[J]. 测绘通报, 2002(11): 25-30
- [6] 刘仁义, 刘南. 基于 GIS 复杂地形洪水淹没区计算方法[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 1-6
- [7] Li R, Ma R, Di K. Digital Tide-coordinated Shoreline[J]. Journal of Marine Geodesy, 2002, 25(1): 27-36
- [8] 暴景阳, 黄辰虎, 刘雁春, 等. 海图深度基准面的算法研究[J]. 海洋测绘, 2003, 23(1): 8-12

第一作者简介: 张立华, 讲师, 博士生。主要从事军事海洋多维 GIS 研究。

E-mail: zlhua@163.com

An Algorithm for Simulating Intertidal Flood Area Based on Digital Tide-Coordinated Shoreline

ZHANG Lihua^{1,2} ZHU Qing² BAO Jingyang¹ XU Shenghua²

(1 Department of Hydrography and Cartography, Dalian Naval Academy, 667 Jiefang Road, Dalian 116018, China)

(2 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,

Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: An algorithm is presented for simulating the intertidal flooded areas based on digital tide-coordinated shoreline (DTS). On the basis of creating digital intertidal zone model (DIZM) and instantaneous water surface model (IWSM), DTSs are acquired. Disconnect depressions are determined depending on types of DTS, and influencing areas of them are computed efficiently. Moreover, reasonable rendering modes of DIZM and IWSM are determined, and flooded areas are built and displayed correctly. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm is more advantageous than traditional algorithms in accuracy and efficiency.

Key words: DTS; flood; intertidal zone; depression